

発話理解に向けた顔面の3次元計測と分析

—母音発声時の口唇の動き—

堤 江美子*, 倉持 裕美**

要 約

人は表情、音声、身振り、手振りなどを統合的に用いるマルチモーダル情報処理によって、他人とコミュニケーションを行なう。本研究では、ヒューマンインタフェースの立場から顔面を対象に、発声に伴う形状の変化をとらえる第一段階として、日本語の母音【ア】、【イ】、【ウ】、【エ】、【オ】発声時顔面の外形の変化を、特に口唇およびその周辺から調べた。3次元計測には能動的非接触型レンジファインダーを用い、『上唇点』、『下唇点』、『左口角点』、『右口角点』の位置を調べた。主な結果は以下のとおりである。総じて下唇の方がよく動いており、特に後方、下方へ移動する傾向が強いことがわかった。そこで母音発声による口唇の動きを、音声学における舌の位置的变化に対応した母音の分類と比較しながら定量的に分析した。【ア】を基本にした場合、発声時に舌が硬口蓋に向かって次第に上前方向に高まっていく【エ】－【イ】の系列（硬口蓋母音）では、舌の変化に伴う下唇点・口角点の位置的变化から、下顎が次第に閉じることによって口の開き具合が狭くなることが分かった。また、【イ】に至ると、下顎が上がるばかりでなく、口唇が横に広がり、上唇の中央部はやや奥に引っ込む傾向があった。一方、舌が口蓋帆にむかって次第に上奥方向に高まっていく【ア】－【オ】－【ウ】の系列（軟口蓋母音）では、口角および下唇の中央部が徐々に前方・上方へ移動して両口角点間の幅が狭まり円唇化した。ただし、軟口蓋母音では、舌の形状的变化に伴って口唇形状が硬口蓋母音の時ほど線形に変化するわけではなかった。また、上述の母音発声による口唇周辺部の顔面形状の変化を、顔面3次元モデルのブール演算結果から視覚的に確認できた。

1. はじめに

人同士のコミュニケーションにおいては、表情、音声、身振り、手振りなどさまざまな手段が用いられる。これら複数感覚の情報は個別に使用

されるのではなく、統合的に利用するマルチモーダル情報処理による効果が期待されている。コンピュータとのコミュニケーションにおいても、上述のようなマルチモーダル情報処理を用いれば人間側が感じるストレスは軽減されることが考えられる。

*大妻女子大学 社会情報学部

**大妻女子大学 社会情報学部（現在 株式会社東和エンジニアリング）

顔画像研究の分野では、たとえば複雑な情報を感性と関連付けた表情としてディスプレイ上の顔図形に表現することで利用者に情報を判断させたりする、広い意味でのユーザインタフェース研究が行なわれている。人間の音声合成技術とそのような画像技術を同期させ、音声という聴覚情報に視覚情報を付与すれば、機械とのコミュニケーションに現実感を付与することもできる。顔の表情の合成・再現にあたっては、顔に自然な表情を与えることが重要であるが、たとえば表情記述法の一つに FACS (Facial Action Coding System)¹⁾がある。これは、人間の表情に対して44通りの基本動作を仮定して、各基本動作の組み合わせで表情を記述しようとするものであり、FACS を用いれば数値化された表情をディスプレイ上で合成できる。また、コンピュータアニメーションの分野でも、人の表情を計測してアニメーションキャラクタに組み込むなど表情を工学的に分析している例がある。

コミュニケーションに関して表情だけでなく言語行動を含めた分析を行なう際には、発話による顔面の変形も数値化する必要がある。人が言語行動の理解に能動的に視覚情報を利用している例としての読唇では、顔面の全体的な印象だけではなく口唇の動きによって積極的に音声を理解しようとする。発話による口唇の動きが定量的に表現できれば、顔の3次元画像からさまざまな発話時の表情を再現することもできる。

そこで本研究では、顔面形状を対象とした発話理解、あるいはヒューマンインタフェースの立場から発声に伴う口唇の動きに関する基礎データを得るために、口唇の3次元形状計測に基づいて定量的分析を行った。

2. 発声と口唇

従来、発声と言葉の関係については音声学の立場から研究が行われてきた^{2), 3), 4), 5)}。声は音声器官(図1)を通じて口から出る空気の流れが元となっている。音声器官においては、まず、喉の奥にあり気管の出口にも相当する声帯が振動するこ

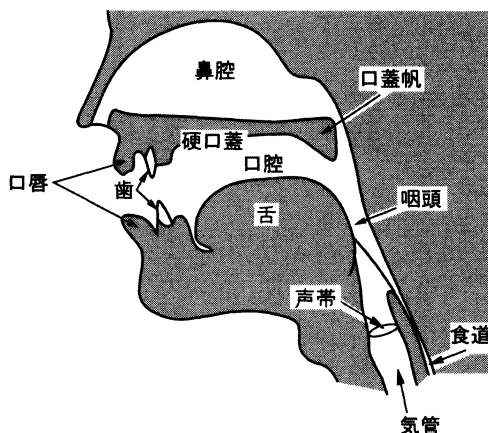


図1 音声器官

とで音源となる空気の断続的な流れが生じる。喉から唇までの間には声道と呼ばれる声の通り道がある。声道は声帯側から順に咽頭、口腔、口唇という共鳴体によって構成されている。口腔は下側の大部分が舌であり、天井側は前方の硬口蓋と、後方の鼻腔に通じる入り口を開閉する口蓋帆（軟口蓋）から成る。共鳴の性質はこの声道の形によって決まるので、各母音や子音の共鳴効果を作り出すには、これに対応した声道の形を作る必要がある。声道の形に大きく影響するのは、口の開き具合と舌の形であるが、顔面の外形の変化から直接観察できるのは口唇およびその周辺の形状である。母音は声帯の振動によって生じた声舌や口唇などの細かな動きに障害を受けずに発せられる音であるため、もっとも単純な口唇の形状を保っていると考えられる。

そこで今回は、発話時の顔面の変形をとらえる第一段階として、日本語の母音【ア】、【イ】、【ウ】、【エ】、【オ】^(注1)発声時の顔面の外形的变化を、特に口唇およびその周辺から調べた。

3. 顔面の計測

母音発声時の顔面の形状変形を分析するために、顔面にマークを付して3次元形状計測を行なった。また、静止時の頭部に対してマルチン式計測を行なった。

3.1 3次元形状計測システム

3.1.1 概要

顔面の3次元形状計測には、ミノルタ製の3次元計測器 VIVID700を使用した。本計測器(図2)は、レーザビームによる光切断法を採用した能動的非接触型レンジファインダーである。

3.1.1.2 計測原理

VIVID700は、スリット状のレーザ光で被写体をスキャンし、その反射光を CCD カメラで受光することにより、三角測距の原理で被写体までの距離情報を得て3次元データ化する。レーザ光をガルバノミラーで上下方向に走査することで1回のスキャンにより照射画像全体で200×200点の距離画像を0.6秒の高速で入力する。また、400×400点のカラー画像データを計測と同時に同一視野で得ることができる。なお、VIVID700はズームレンズとオートフォーカス機構を採用しているため、セッティングを気にせずに対象の3次元形状が入力できる。以上の特徴から、人体など静止させにくい対象物の計測に適していると考えられる。

3.1.3 機器構成(図2)

本システムはレンジファインダー VIVID700本体と SCSI-II インターフェースで接続されたワークステーションからなる。VIVID700にはズームレンズとオートフォーカス機能、カラー液晶ファインダー、モニターが搭載されており、本体上でモニターを見ながら計測対象のフレーミングと入力結果が確認できる。ワークステーションでは撮影、ズーム、レーザパワー設定、データの保存などを行う。ワークステーションの構成は以下のとおりである；OS: Windows NT 4.0, CPU: Pentium III 1 GHz, メモリ: 2 GB, モニター: 22inch。

3.2 計測方法

3.2.1 被験者

被験者は大妻女子大学社会情報学部 of 健康な学生(20歳から23歳, 全員女子) 11名である。

3.2.2 計測対象

(1) 計測部位と計測点

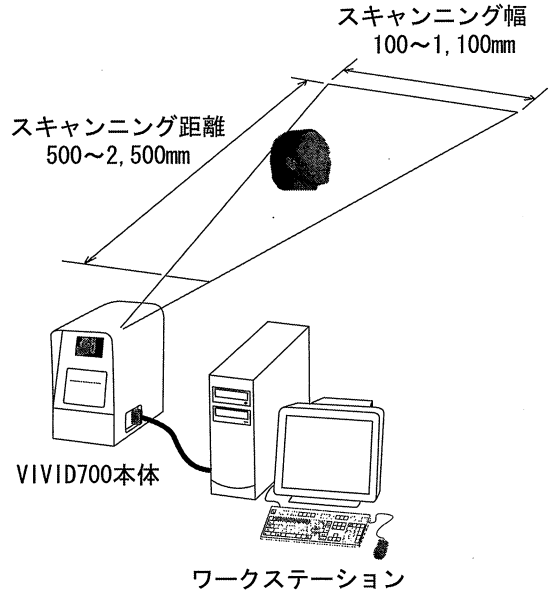


図2 計測システム

計測部位は髪の毛の生え際から顎まで、また、側面は左右の耳の付け根までとした。事前の準備として当該領域を露出させ、顔面形状分析の指標として図3に示した30個の計測点に直径5mmの赤い無光沢のシールを貼った。これらの計測点は、マルチン式計測で定められている計測点および表面的な特徴点から選んだもので、位置計測、マルチン式計測時および3次元計測結果の合成の際に用いた。

(2) 計測対象顔面パターン

計測対象は表1に示した6種類の顔面パターンである。

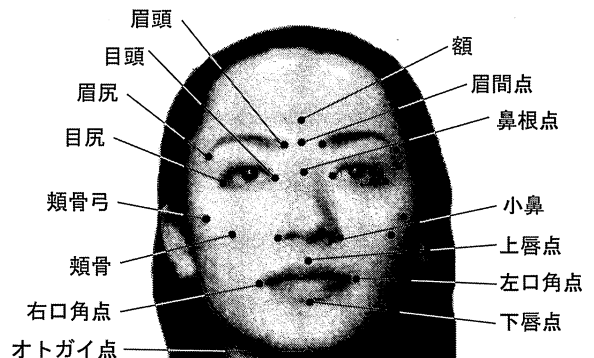


図3 顔面計測点

3.2.3 計測手順

(1) 計測方向

光切断法によるレンジファインダーでは、光が照射された1方向のみの計測が可能である。本実験では顔面の正面および側面を計測する必要から、各計測対象に対して正面、および左右斜め方向の3方向から計測した。各方向撮影時にはカメラを移動せず椅座位の被験者の正面方向を体位ごと変えた。この時、被験者には各方向の目印に視線を向けさせることによって顔面の方向を定めた。撮影時には被験者の顔面に照明を当てて明るさを調節した。装置、被験者、目印の位置関係を図4に示す。

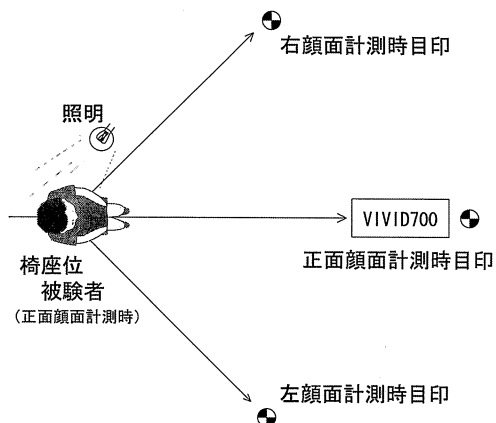


図4 計測装置と被験者の配置

(2) 計測

11名の被験者に対し、それぞれ6種類の顔面パターンを正面、および左右斜め方向からVIVID700で計測して距離画像を得た。図5は、計測と

同時に撮影された各顔面パターンのカラー画像の例である。

表1 計測対象顔面パターン

顔面パターン	説 明
静止時顔面	耳眼水平で口を閉じた静止時の顔面
母音【ア】発声時顔面	静止時から【ア】の発声に移行した顔面
母音【イ】発声時顔面	静止時から【イ】の発声に移行した顔面
母音【ウ】発声時顔面	静止時から【ウ】の発声に移行した顔面
母音【エ】発声時顔面	静止時から【エ】の発声に移行した顔面
母音【オ】発声時顔面	静止時から【オ】の発声に移行した顔面

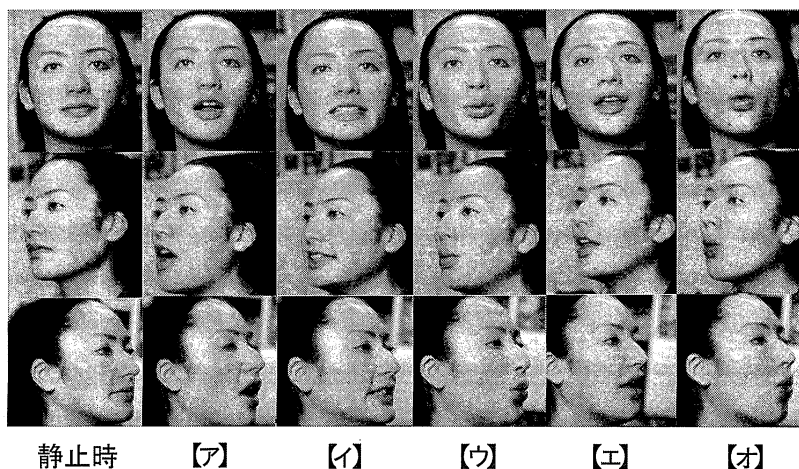


図5 計測と同時に撮影されたカラー画像

(3) 計測データの後処理

各顔面パターンについて3方向のデータを合成して1つのオブジェクトを作成した。合成では顔面に付した赤いマークの位置を各方向の対応点として使用した。作成されたオブジェクトはDXFファイルに、カラー画像はTIFFファイルに変換して保存した。図6に3方向データを合成して作成した顔面オブジェクトの例を示す。

(4) 顔面モデルの作成

3次元計測により得られた顔面オブジェクトにカラー画像をマッピングして顔面モデルを作成した。マッピングには3DCGソフトウェアを使用した。あらかじめ髪の毛など不要な部分を編集・削除したカラー画像を、UV座標に変換した顔面オブジェクトに平面型投影でマッピングした。図7に作成した顔面モデルの例を計測データ点と共に示す。

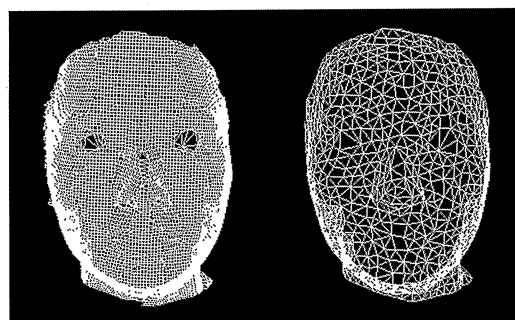
3.3 生体計測

3次元計測と同時に、図3に示した計測点を元に、頭部18項目の生体計測を耳眼水平位で行った。計測には、巻尺、触角計、滑動計、管状計を使用した。頭長($x=179.1$, $SD=5.32$, $N=11$), 頭幅($x=152.55$, $SD=6.49$, $N=11$)の計測結果を生命工学工業技術研究所編の18歳から30歳未満の女子204名のデータ(生命工学工業技術研究所⁹⁾, 1996)(頭長: $x=180.3$, $SD=6.03$, $N=204$: 頭幅: $x=153.8$, $SD=5.34$, $N=203$)と比較した結果、共に比較対象と有意差がなく、今回の被験者は現代の平均的な大きさの頭部形状を有している判断された。

4. 母音発声による口唇およびその周辺の変化

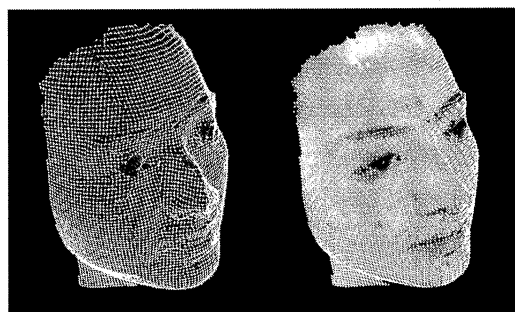
4.1 口唇位置の測定

顔面モデルから母音発声時の口唇形状の変化を調べるために、すべての顔面モデルが比較可能な座標系(図8)を設定し、3DCGソフトウェア内で顔面モデルを再配置した。座標軸は同一被験者の発声による口唇の位置的变化を調べる際の基準として母音発声時に変化を受けにくい部位と判断された『鼻根点』を原点とし、顔面の矢状方向



(1) 顔面オブジェクト (2) 簡易表示

図6 3方向データの合成により作成された顔面オブジェクト



(1) 顔面オブジェクト (2) 顔面モデル

図7 顔面モデル

注) 顔面モデルには計測データ点を同時に表示してある。

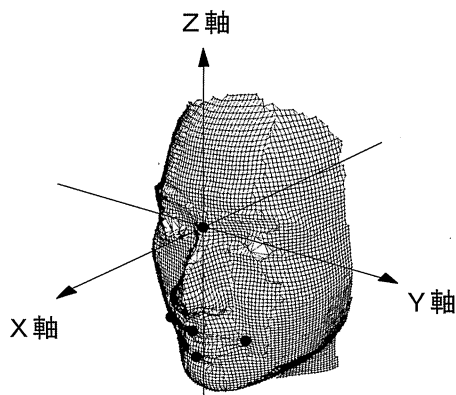


図8 座標値測定およびブール和演算に用いた顔面の座標系

表2 母音発声による計測点の移動量と検定結果 (mm)

計測点	母音	【ア】			【イ】			【ウ】			【エ】			【オ】		
		x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
上唇点	平均値	0.4	0.2	-1.2	-2.2	0.9	0.7	3.3	0.3	-0.5	-0.4	0.1	0.5	2.4	0.1	-2.4
	SD	4.9	2.6	3.9	4.4	5.1	6.4	3.8	3.6	5.6	3.1	3.4	3.2	3.1	2.9	5.6
	t-test	0.841	0.839	0.528	0.249	0.601	0.763	0.068	0.841	0.829	0.826	0.956	0.771	0.142	0.906	0.299
下唇点	平均値	-5.7	0.6	-16.1	-4.7	1.3	-5.8	2.7	0.6	-4.2	-6.1	0.6	-9.5	-2.7	0.3	-9.7
	SD	6.3	4	6	5.2	5.3	5.6	5	3.4	7.4	4.9	4	5.7	2.9	3.8	6.1
	t-test	0.027	0.674	0	0.039	0.476	0.036	0.202	0.66	0.169	0.007	0.683	0.002	0.2	0.858	0.002
左口角点	平均値	-4.2	1.6	-4.6	-4.4	4	0.2	5.3	-0.8	0.3	-4.2	0.4	-1.5	1.2	-2.2	-3.9
	SD	4.4	3	4.7	3.5	5.8	5.7	6.2	6.9	7.9	4.6	4.3	4.6	3.3	3.8	5.2
	t-test	0.019	0.239	0.071	0.006	0.059	0.936	0.02	0.733	0.919	0.023	0.816	0.552	0.365	0.156	0.133
右口角点	平均値	-6	-1.1	-4.1	-6.7	-2.4	0.8	5.4	4.4	-1.9	-4.6	-0.6	-4.1	1.5	3.9	-4.5
	SD	8	4.4	5.4	5.2	4.8	6.6	4.1	3.4	5.9	4.4	3.8	9.2	4.1	4.2	6.7
	t-test	0.042	0.531	0.086	0.003	0.193	0.753	0.005	0.007	0.437	0.016	0.707	0.214	0.366	0.03	0.099

をX軸, 前頭方向をY軸, 鉛直方向をZ軸とした。その後, まず, 発声に伴う口唇付近の計測点の位置的变化を分析した。使用した計測点は, 『上唇点』, 『下唇点』, 『左口角点』, 『右口角点』(図3)の4点で, これらの計測点の空間座標を顔面モデルから測定した。

4.2 口唇位置の分析

表2に各計測点の静止顔面からの移動量を示す。表において, t-testの値は各母音発声時と静止時との座標値の平均値の差のCR(Critical ratio)である。以下, 移動量をグラフ化して, 移動の大きい部位や方向について特徴を述べる。

4.2.1 計測点毎の変化

図9に計測点の奥行き・幅・高さ方向への静止時からの移動量をt検定の結果と共に計測点毎に示した。

まず, 口唇の上下の点(『上唇点』, 『下唇点』)では, 当然ながら幅(y)方向の変化は見られず, 発声母音によって奥行き(x)・高さ(z)方向に変化の特徴がみられた。特に下唇点では, 奥行き・高さ方向に上唇点より大きな変化がみられた。詳細に言えば, 奥行き方向について, 上唇点では【ウ】および【オ】の時にやや前方に移動するだけであるのに対して, 下唇点では, 【ウ】でやや前方に移動している以外, 他の発声では大きく後下方にひいているのが分かる。また, 下唇点の高さ方向の移動量の大きさは, 【ア】、【オ】、

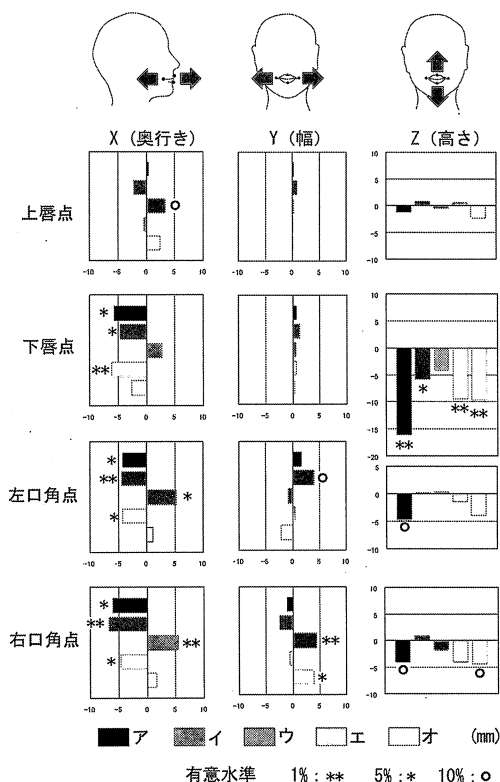


図9 計測点毎にみた発声母音による計測点の位置的变化

【エ】、【イ】、【ウ】の順であった。

次に, 口角, つまり口唇の左右の端点(『左口角点』, 『右口角点』)についても, 発声の種類ごとに奥行き・高さ方向では程度の差こそあるが下唇点とほぼ同様の傾向が見られた。ただし, 幅方

向に関しては奥行き・高さの変化とは異なった独自の傾向をもっていることが分かった。

全体として、横方向には特定の母音でしか有意な変化が生じなかった。また、静止時より位置が上方向に移動することはほとんどなかった。総じて下唇の方がよく動いており、特に後方、下方へ移動する傾向が強かった。そもそも、発声時以外でも口の開閉は主として下顎が担っていることから、これはある程度当然のことといえよう。その一方で発声の種類によってx, y, z方向の変化の比率は異なっていた。そこで次に母音の種類ごとに口唇の動きを定量的に分析した。

4.2.2 発声母音毎の分析

図10に、図9を母音ごとに並べ替えた結果をt検定の結果と共に示した。以下に、静止時との間に有意差の見られた項目を中心に母音発声による形状の変化について述べる。

(1) 【ア】発声時

特に高さ(z)方向に大きな特徴がみられた。下唇中央で約16mm、口角では約5mm下方に移動し、また共に4~6mm後方に移動した。つまり、上唇があまり動かないまま、顎関節を中心とした下顎骨の下方回転に一致する方向に口が大きく開けられていることが分かる。

(2) 【イ】発声時

5つの母音の中で、唯一、口唇が幅(y)方向に開く。左右あわせて6.5mmほど開いた。口唇は全体に2~7mmほど後方に移動し、下唇中央が6mmほど下がった。

(3) 【ウ】発声時

5つの母音の中で、唯一、口唇全体が前方(x方向)に3~5mm突出する傾向を持っている。口唇の上下中央部では3mm程度であるのに対し、口角で5mm以上突出している。また、左右で5mm以上幅が狭くなっており、唇を丸めて突き出している様子が確認された。

(4) 【エ】発声時

全体として母音【ア】の発声時の変化に似ているが、異なる点は下唇部の下がり具合で、10mm程度であり、【ア】ほど口が大きく開かれていないのが分かる。口角も【ア】の時ほど下がらな

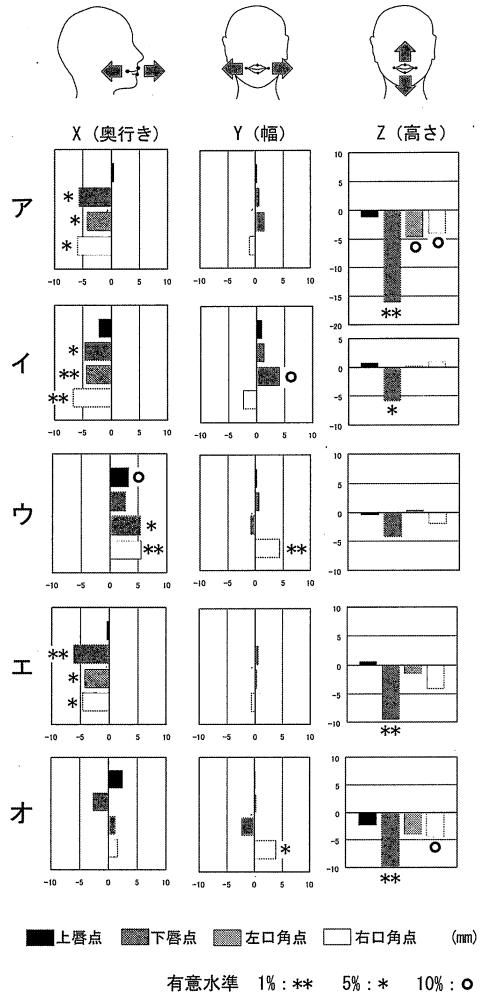


図10 発声母音による計測点の位置的变化

かった。その一方で、後方への移動は【ア】の場合と同程度であった。

(5) 【オ】発声時

奥行き方向で、他のどの母音とも異なる動きを示していることが分かる。下唇部中央は【ア】や【エ】の発声時のように後方下部に移動するが、上唇部中央ではやや前方に突き出る。また、口角もやや前方に移動するが静止時との間に有意差はない。それでも【ア】に比べれば相対的に口角が前方に位置し、また、幅方向では【ウ】と同程度静止時に比べて狭くなっており、唇を丸めている様子が確認された。

4.3 口唇周辺の変化

(1) 形状変化の可視化

前節では母音発声による口唇形状の変化を数値的に分析したが、口唇の動きはそれ自体の独立した動きではなく、当然ながら、口裂周囲の口輪筋などの表情筋の作用に因るものである。人では、その特徴である言葉を話すため、口の周囲の筋は特に分化している。今回の計測では顔面全体を3次元計測しているのので、口唇の周辺部の外面的な変化もとらえることができる。ただし、口唇の周りは頬のような軟組織に覆われており、個人間で比較できるような計測点は設定しにくかった。そこで、形状変化を曲面の変化と考えて顔面モデルから直接ブール和演算によって求めた。計算には3DCGソフトウェアを用いて、静止時の顔面モデルと5つの母音【ア】、【イ】、【ウ】、【エ】、【オ】発声時の顔面モデルの和をブール演算によりそれぞれ求めた。違いをわかりやすくするために、静止時の顔面モデルには淡色、各母音発音の顔面モデルには濃色の色を付けた。それぞれのレンダリング出力の結果を図11に示す。ただし、図11は一被験者の例で、被験者全員の平均値ではない。

これらの表示結果から、静止時と各母音発声時の顔面モデルの形状的变化を口唇部とその周辺部

との関係において視覚的にとらえることができた。

【ア】発声時

4.2.2(1)の結果から、顎が下がって口が大きく開いているとされたが、頬は小鼻近辺から下顎角に向かう線から下方で凹む。

【イ】発声時

4.2.2(2)の結果から、口唇が横に開き、口角あたりまでかなり後方に移動したことが分かったが、その範囲は口唇の周りのみで、頬は側方に膨らむ。

【ウ】発声時

4.2.2(3)の結果から、唇を丸めて突き出していることが分かったが、静止時より突出した範囲は口唇の周りのみで、頬は頬弓部から口角に向けて中央部が大きく凹む。

【エ】発声時

4.2.2(4)の結果から、全体として【ア】の発声時の変形の程度が弱い状態とされたが、頬も【ア】の場合ほど凹んでいない。

【オ】発声時

4.2.2(5)の結果から、【ウ】発声時のように口唇を丸めていることが分かったが、口唇部近辺のみ突出し、頬の凹み方は【ア】に近い様相を示している。

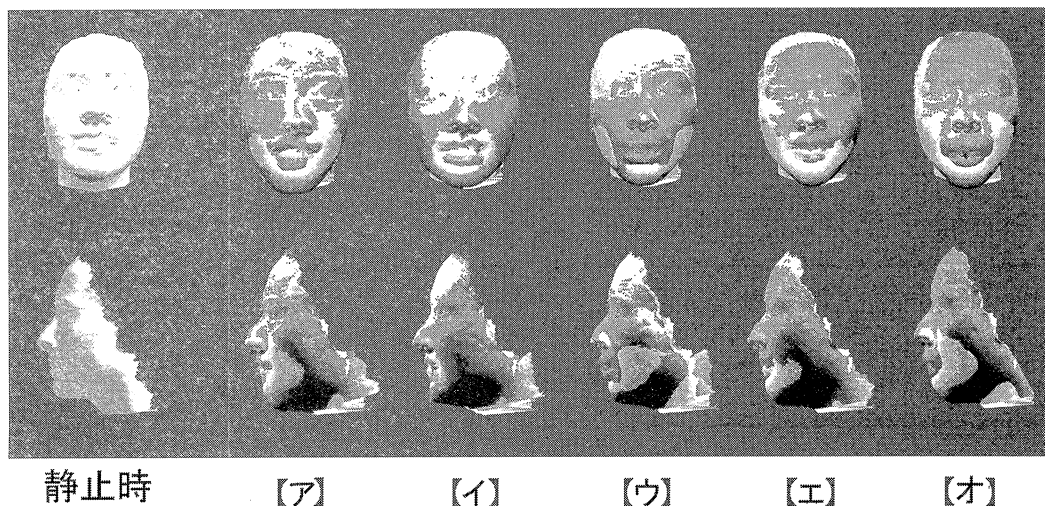


図11 ブール和演算による変化量の可視化

(2) 母音発声と口唇および下顎の開き具合

まず、上唇と下唇の前方への突出度を、上唇点と下唇点のx方向への静止時からの移動量の平均値として計算すると、【ウ】>【オ】>【ア】>【エ】>【イ】の順になった。この順番は佐藤⁷⁾による口唇の突き出し具合^{注2)}と比べると【ウ】と【オ】の順序が逆になっていた。しかし、硬口蓋母音の系列では口唇が突き出され（円唇化）、軟口蓋系列では口唇が平唇化することが分った。これは、ブール和演算による口唇周辺部の表示結果からも確認できた。

次に、口唇の開き具合を上唇点と下唇点の高低差の平均値として計算すると、【ア】>【エ】>【オ】>【イ】>【ウ】の順となった。佐藤によれば開唇値^{注3)}は、【ア】>【エ】>【イ】>【オ】>【ウ】の順で小さくなったとされ、【オ】と【イ】の順が異なったが、今回の場合、【オ】と【イ】の大きさの差は1mm以下であり、計測点も異なるので異なった結果とは言い切れない。その一方で、下顎の開き具合を、下唇点の絶対的変化量で表すと、【ア】>【オ】>【エ】>【イ】>【ウ】となり、これは佐藤の開顎度に一致する。このように、下顎の開き具合と口唇の開き具合の順に違いがあることに関して、佐藤は、顎の開きは口腔内容積の大小を決定づける働きを有しているものの、どちらかといえば唇の動きを支え

るための補助的な役割を果たしている運動と考えられるとしている。この点に関してたとえば図11の【オ】を見ると【ア】ほどは顎が下がっていないにも関わらず、口唇を前方に丸めて突き出しているために、頬が【ア】と同程度に凹み、下顎の動きに表情筋による作用が加わって口唇を形作っている様子が観察できる。

4.4 舌の位置と口唇の形状

音声学において、各母音発声時の舌の位置は模式的に表せば図12の中央の三角形のようになる^{2),3)}。つまり、舌が硬口蓋にむかって次第に上前方に高まっていく【ア】-【エ】-【イ】の系列（硬口蓋母音）と、口蓋帆にむかって次第に上奥方向に高まっていく【ア】-【オ】-【ウ】の系列（軟口蓋母音）が認められている。舌の位置は、音響学的には咽頭と口腔という2つの共鳴腔の大きさ（容積）を調整するものとされており、これらの容積の変化に従って上述の系列が区別されているのであるが、ここでは、各系列に従って、結果として口唇の形状がどのように変化していくのか、先の発声母音毎の分析結果を系列ごとに考察する。図12に口唇の模式図をあわせて示す。

なお、ここでは母音【ア】を基準に設定している。【ア】では舌の位置はほぼ平らで静止時の位置にきわめて近いとされている。先の発音に伴う

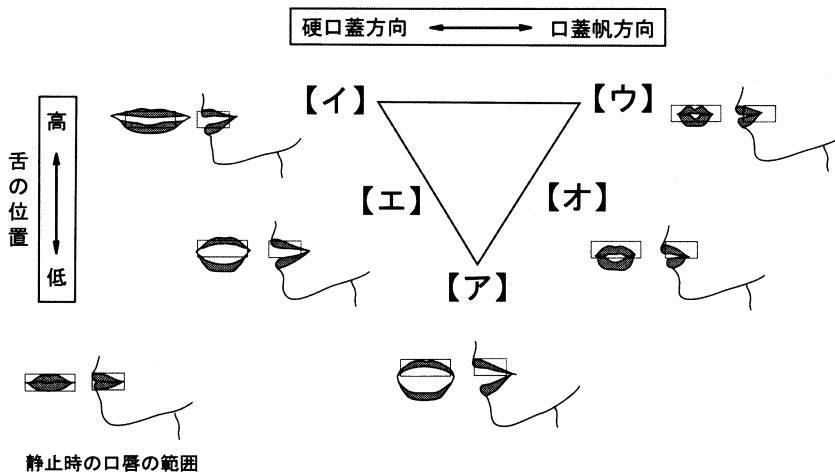


図12 音声学における母音発声時の舌の位置と計測された口唇形状の模式図

形状変化の結果でも、【ア】は『顎関節を中心とした下顎骨の下方回転』に伴う口の開閉が外観形状の変化の最大要因とみられた。これより、最も単純な口の動きを伴った母音と考えられるので、母音【ア】を出発点に考えることは、舌の位置だけでなく、口唇形状変化の立場からも合理的であると考えてよいだろう。

(1) 硬口蓋母音

図13に示すように、【ア】 - 【エ】 - 【イ】と舌が前に進みながら硬口蓋方向に高まっていく硬口蓋母音では、最も大きな変化は高さ方向に表われた。高さ方向では、舌の変化につれて下唇中央は6.6mm, 10.3mmと次第に上がり、上唇の変化が約2mmと小さいために、開かれた口の上下幅が狭くなっていくことが分かる。【ア】では5mm近く下がっていた口角は、【イ】ではほぼ静止時の位置まで戻る。また、【イ】に至ると、下顎が上がるばかりでなく、口唇が約7mm横に広がり、上唇の中央部も2mm程度奥に引っ込んだ。

(2) 軟口蓋母音

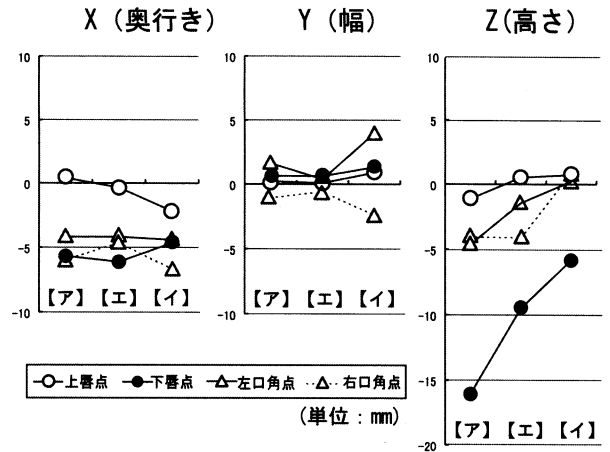
図14に示すように、【ア】 - 【オ】 - 【ウ】と舌が上奥の口蓋帆方向に高まっていく軟口蓋母音において、高さ方向では【オ】の上唇部以外は硬口蓋母音と同様の变化見られた。これに対して【オ】の上唇部は、【ア】と【ウ】の中間に位置しているわけではなく、上唇中央では【ア】よりも低く位置した。

一方、他の方向への動きは硬口蓋母音と大きく異なった傾向を示した。【ア】と比較すると奥行き方向では特に下唇を中心として【ウ】に至って10mm前後も前方に突出し、幅は逆に左右で10mm近く狭くなって口唇が次第に円唇化する様子が認められた。軟口蓋母音では上唇点も4mm弱ではあるが次第に突出する傾向にあった。

以上、軟口蓋母音では、口唇形状が硬口蓋母音の時ほど線形に変化するわけではなかった。

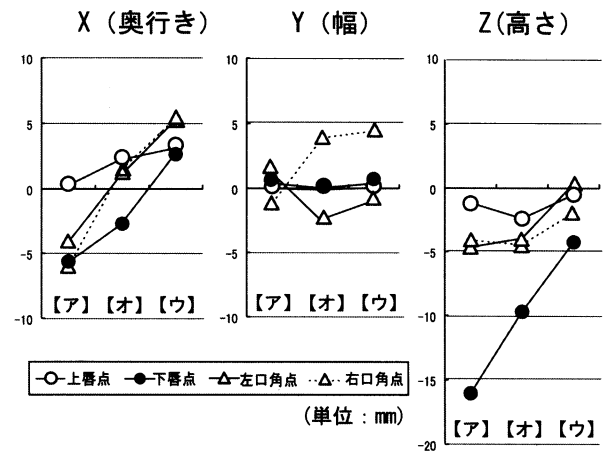
(3) 母音の系列モデル

ここでは、硬口蓋母音と軟口蓋母音の特徴に沿って口唇の変化をみてきたが、軟口蓋母音のうち、【オ】では、(2)の結果から【ア】 - 【ウ】の



【ア】 - 【エ】 - 【イ】 系列

図13 硬口蓋母音における計測点の位置的变化



【ア】 - 【オ】 - 【ウ】 系列

図14 軟口蓋母音における計測点の位置的变化

系列からややはずれるように考えられた。この点について、佐藤⁷⁾は、『・・さまざまな調音姿態から、日本語母音の調音について系統化してみると、3つの方向性を考えることができる。一つは円唇後舌化の方向を辿る a→o 系列であり、二つ目は無特徴の調音姿態となる a→u 系列、そして3つ目は平唇前舌化の方向をとる a→e→i 系列である。』と述べ軟口蓋母音のうち、【ウ】を中間の系統としている。

5. まとめ

ヒューマンインタフェースの立場から発声に伴う顔面形状の変化をとらえる第一段階として、日本語の母音【ア】、【イ】、【ウ】、【エ】、【オ】発声時顔面の外形の変化を、特に口唇およびその周辺から調べた。その結果、

- (1) 口唇は、横方向には特定の母音でしか発声に伴う有意な変化が生じなかった。また、静止時より位置が上方向に移動することはほとんどなかった。総じて下唇の方がよく動いており、特に後方、下方へ移動する傾向が強かったが、これらの様子を定量的に分析できた。
- (2) 静止時の顔面モデルと5つの母音【ア】、【イ】、【ウ】、【エ】、【オ】発声時の顔面モデルのブール和演算により、静止時と各母音発声時の顔面モデルの形状的变化を口唇部とその周辺部との関係において視覚的にとらえることができた。
- (3) 口腔内の舌の位置的な変化の系列で区別される硬口蓋母音および軟口蓋母音について、口唇の外面的な形状変化を系列に沿って定量的に分析した。軟口蓋母音では、口唇形状が硬口蓋母音の時ほど線形に変化するわけではなかった。

謝辞

本研究は本学社会情報学部で平成12年度研究設備品費により遂行することができました。心から感謝申し上げます。なお、計測にあつたては当予算による3次元形状計測器 VIVIVID900納入時期の制約から、ミノルタ株式会社のご好意により VIVID700を借用させていただきました。その際にはミノルタ株式会社計測機器事業本部計測機器営業部の宇田川純一氏、同国内販売部門の藤岡重歳氏に大変お世話になりました。厚くお礼申し上げます。

注

- 注1) 本論文では母音の表記を【ア】、【イ】、【ウ】、【エ】、【オ】としたが、これは文献7)における/a/, /i/, /u/, /e/, /o/と同一のものである。
- 注2) 計測項目として上唇、下唇の最突出点を使用している。
- 注3) 唇部中央の開口幅の最小値を使用している。

参考文献

- 1) Ekman, P. and Friesen, W. V. (1978) Facial action coding system (FACS) : A technique for the measurement of facial action. Palo Alto, Ca. : Consulting Psychologists Press.
- 2) ベルティル・マルンベリ (1976) 「改訂新版音声学」, 大橋保夫訳, 白水社.
- 3) 橋本萬太郎, 他 (1977) 岩波講座「日本語5音韻」, 岩波書店, 485頁.
- 4) 天沼寧, 大平一夫, 水谷修 (1989) 「日本語音声学」, くろしお出版, 191頁.
- 5) 日本音響学会編 (1996) 「音のなんでも小事典」, 講談社.
- 6) 生命工学工業技術研究所編 (1996) 「設計のための人体寸法データ集」, 人間生活工学研究センター.
- 7) 佐藤和之 (2001) 「日本語音声の生成と音響特徴」 pp.47-106, 城生伯太郎編 日本語教育学シリーズ第3巻「コンピュータ音声学」, おうふう, 261頁.

Shape analysis of human lips aimed for description of Japanese vowels

EMIKO TSUTSUMI*, HIROMI KURAMUCHI**

**School of Social Information Studies, Otsuma Women's University*

***School of Social Information Studies, Otsuma Women's University*

(Present affiliation : Towa Engineering Co.)

Abstract

When we communicate with one another through a language, we process multi-modal information such as facial expression, voice, gestures and signs. In this paper we have made a three-dimensional analysis of lip positions using a quantitative measure, when the five vowels [a],[e],[i],[o] and [u] were pronounced. The results indicated that the lips were moved prominently downward and backward along with their narrowing and widening movements. Our findings showed that for the front vowels, i.e., [e] and [i], which had characteristic of upward raising and forward pushing of the front part of tongue, a considerable degree of modification was observed in the height of the lower lip. The more the tongue approached the hard palate, the more the lower lip was raised. The change was greatest in the case of the vowel [i] with about 10 mm being the maximum. Furthermore, the vowel [i] exhibited lip width stretch of approximately 7 mm and a approximately 2 mm retraction of the upper lip in its center. For the back vowels, [o], and [u], a different modification was observed in the depth of the lower lip. The entire lower lip along with the corners of the mouth was pushed forward about 10 mm and the lips were rounded. The lip positions of [o] and [u] did not show such a proportionate change as was observed in the case of the front vowels.

Key Words (キーワード)

vowel (母音), lip position (口唇位置), three-dimensional measurement (三次元形状計測), multi-modal information processing (マルチモーダル情報処理)